Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy

OPEN ACCESS JOURNAL

مقاله پژوهشی

مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

مجله بلورشناسی وکانی شناسی ایران
سال سی و دوم، شمارهٔ دوم، تابستان ۱۴۰۳، از صفحهٔ ۳۱۳ تا ۳۲۴

ویژگی‌های زمین شیمیایی دایک‌های اسیدی تا حدواسط دربوم‌های گرانیتی و فلیشی جنوب زاهدان، جنوب شرق ایران

محدثه رحیم‌زاده، حبیب بیابانگرد*، عبدالرضا پرتابیان، علی احمدی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۷/۴، نسخه نهایی: ۱۴۰۲/۹/۲۸)

چکیده: در بوم‌های گرانیتی و فلیشی واقع در جنوب زاهدان، دایک‌های آذرین با ترکیب اسیدی تا حدواسط برونزد دارند که از نظر تقسیم‌های زمین‌شناسی ایران وابسته به پهنه‌ی زمین‌درز سیستان هستند. این دایک‌ها دارای روندهای مختلف به ویژه روند غالب شمال غرب - جنوب شرق با طول چند کیلومتر و پهنای متوسط حدود پنج متر هستند. آنها اغلب چین خورده بوده و با سنگ‌های میزبان دارای مرز نمایان هستند و به مقدار کم و متفاوت سنگ‌های میزبان به ویژه مجموعه‌های فلیشی ائوسن را هورنفلسی کرده‌اند. گستره ترکیب سنگی آنها دیوریتی تا گرانودیوریتی و معادل‌های خروجی این سنگ‌هاست و بیشتر از کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز، بیوتیت، هورنبلند و مقادیر متفاوتی از کوارتز تشکیل شده‌اند. بافت‌های پورفیری تا ریزدانه‌ای شاخص‌ترین بافت‌های موجود در آنها هستند. داده‌های زمین‌شیمیایی این دایک‌ها آشکار نمود که آنها ماهیت آهکی قلیایی، آهکی قلیایی پتاسیم بالا دارند و متاآلومین تا پرآلومین هستند. آنها از عناصر Rb,Sr,Ba و Zr غنی شده‌اند، در حالی که از عناصر Ni,Co و V تهی شدگی نسبت به مرجع کندریت نشان می‌دهند. در نمودارهای بهنجارشده نسبت به کندریت و گوشته‌ی اوّلیه، همه دایک‌ها از عناصرخاکی نادر سبک (LREE) نسبت به عناصر خاکی نادر سنگین (HREE) غنی‌شدگی نشان می‌دهند. نسبت Eu/Eu^* از ۰٫۹۹ تا ۱٫۲ در آنها تغییر می‌کند. نمودارهای زمین‌ساختی ماگمایی و سنگ‌زایی، وابستگی این دایک‌ها را به پهنه‌های فرورانشی و کششی پس از برخورد نشان می‌دهند. آنها دارای خاستگاه آمفیبولیتی و از نظر زمین‌شیمیایی و محیط تشکیل شبیه توده‌های گرانیتوئیدی زاهدان هستند. از این رو، به نظر می‌رسد که مانند گرانیت زاهدان، ماگمای تشکیل دهنده‌ی این دایک‌ها نیز ازگوه گوشته‌ای بالای صفحه فرورو اقیانوس نئوتتیس به زیر صفحه ایران مرکزی پس از برخورد یا کمی پس از برخورد بوجودآمده است.

واژه‌های کلیدی: *دایک‌های اسیدی تا حدواسط؛ بوم‌های گرانیتی و فلیشی؛ زمین درز سیستان؛ پس از برخورد.*

مقدمه

نفوذ دایک یک فرآیند بسیار پویاست که با قرارگیری ماگما در لایه‌های زمین در مقیاس‌های زمانی متفاوت از ساعت‌ها تا چند میلیون سال رخ می‌دهد [۱]. دایک‌ها اغلب شواهدی برای مسیرهای صعود ماگما از پوسته در نظر گرفته می‌شوند [۵-۲]. بررسی خاستگاه و ماهیت ماگمای نفوذ کرده در واحدهای دایکی شکل می‌تواند اطلاعات با ارزشی از شرایط عمق تشکیل و محیط زمین‌ساختی ماگمای سازنده اوّلیه به همراه داشته باشد [۶].

دایک‌ها اغلب در پهنه‌های مختلف زمین‌شناسی ایران با برونزدهای متفاوت دیده می‌شوند. پهنه فلیش شرق ایران (زمین درز سیستان) از پهنه‌های زمین‌شناسی ایران است که در بوم‌های گرانیتی و فلیشی واقع در آن به ویژه در جنوب زاهدان، دایک‌های آذرین با ترکیب اسیدی تا حدواسط بسیار برونزد دارند. این دایک‌ها اغلب در محل‌های زمین درز فراوانی بیشتری دارند. شکل ۱ پهنه‌های ساختاری ایران و گستره

*نویسنده مسئول، تلفن ۰۹۱۵۳۴۰۸۵۲۶، پست الکترونیکی: h.biabangard@science.usb.ac.ir

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.313]

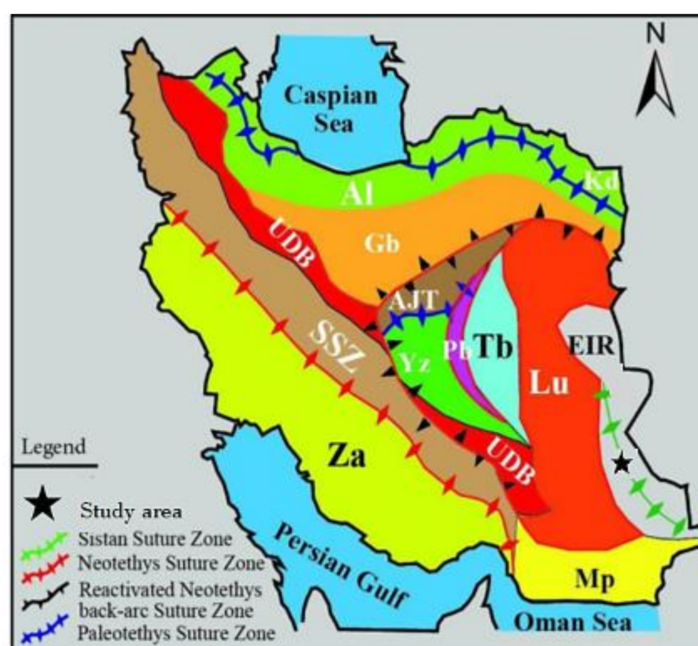
منطقه مورد بررسی درپهنه زمین‌درز سیستان را نشان می‌دهد. بررسی‌های زمین‌شناسی انجام شده در این منطقه بیشتر بر توده‌های گرانیتوئیدی (برای مثال، [۹-۷]) و کمتر بر دایک‌ها به ویژه دایک‌های موجود در مجموعه‌های فلیشی بوده است [۱۰، ۱۱]. در این پژوهش، ویژگی‌های سنگ‌شناسی و زمین‌شیمیایی دایک‌های موجود در توده‌های گرانیتی و فلیشی بررسی شده‌اند.

روش بررسی

پس از بررسی‌های اوّلیه و گردآوری گزارش‌های پیشین انجام شده در منطقه، طی ۷ روز از واحدهای مختلف دایکی و سنگ-های میزبان نمونه برداری شد. سعی گردید که از همه دایک‌ها با تغییرات سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی، نمونه‌های تازه و هوازده نشده، برداشت انجام شود. مختصات جغرافیایی هر نمونه با سامانه موقعیت‌یابی جهانی (GPS) ثبت گردید. از نمونه‌های برداشت شده، تعداد ۷۰ مقطع نازک تهیه و با میکروسکوپ قطبشی المپیوس مدل BH2 با دقت بررسی شدند. سپس، ۱۲ نمونه از دایک‌ها (۷ نمونه از دایک‌های با ماهیت خروجی و ۵ نمونه از دایک‌های با ماهیت درونی) برای تجزیه شیمیایی به آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و مرکز فرآوری مواد معدنی ایران ارسال گردید. تجزیه نمونه‌ها به روش طیف‌سنجی فلئورسانس پرتوی ایکس (XRF) با طیف سنج عنصری فیلیپس (مدل X Unique II) تجزیه شدند. محلول‌سازی نمونه برای تجزیه به روش طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) چهار اسید انجام شد. استاندارد آزمون ASTMd4698 در نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌ها استفاده شد. عناصر اصلی به روش XRF برحسب درصد وزنی و عناصر فرعی و نادر به روش ICPMS بر حسب ppm تجزیه شدند. سپس داده‌های تجزیه با نرم افزارهای معمول سنگ‌شناسی و زمین‌شیمی از جمله Igpet , GCDkit و Minpet تحلیل شدند. برای رسم نقشه نیز از نرم افزار Arc GIS 9.3 استفاده شد.

زمین‌شناسی منطقه

مجموعه توده‌های گرانیتوئیدی زاهدان و فلیش‌های دربرگیرنده‌ی آنها در پهنه زمین درز سیستان واقع هستند. این پهنه از مجموعه‌های افیولیتی "رتوک" و "نِه" تشکیل شده است که توسط یک حوضه رسوبی به نام سفیدآبه از هم جدا می‌شوند [۱۳]. این مجموعه‌های افیولیتی به سن کرتاسه، فلیش‌های دگرگونه ائوسن و سنگ‌های رسوبی- آواری قاره‌ای به همراه نفوذی‌های گرانیتوئیدی الیگو-میوسن زاهدان مهمترین سنگ‌شناسی‌های سازنده پهنه زمین درز هستند [۱۳، ۱۴].

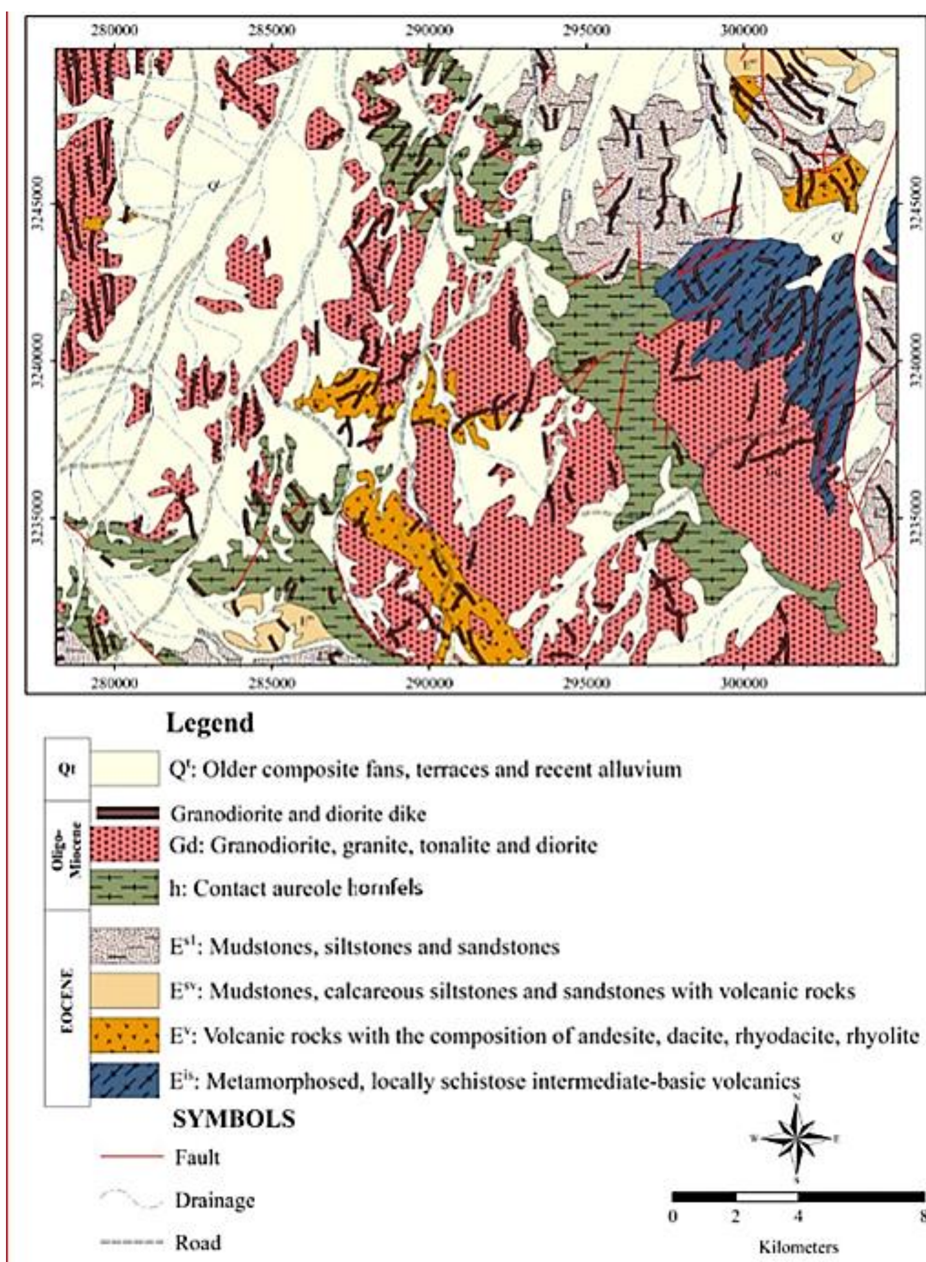


شکل ۱ نقشه پهنه‌های ساختاری ایران و موقعیت زمین درزها و موقعیت منطقه مورد بررسی بر آن [۱۲].

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.313]

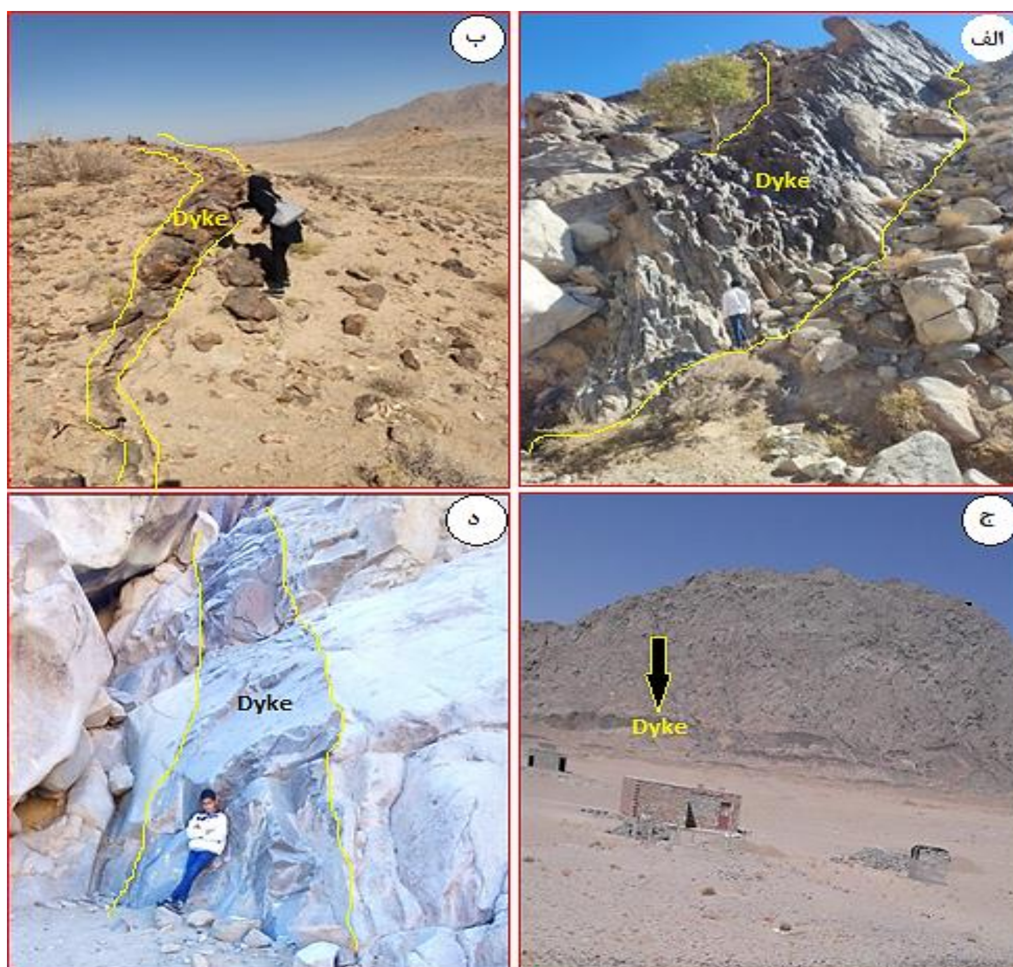
در نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه (شکل ۲) مهمترین واحدها مجموعه‌های فلیشی، سنگ‌های فلیشی کمی دگرگون شده، توده‌های گرانیتوئیدی و دایک‌های موجود در آنها هستند.

دایک‌های منطقه روندهای مختلف و بیشتر روند شمال غرب – جنوب شرق دارند (شکل ۳ الف). ترکیب سنگ شناسی دایک‌ها بیشتر دیوریتی، گرانودیوریتی و معادل‌های خروجی آنهاست (شکل ۳ ب). دایک‌های دیوریتی و گرانودیوریتی نسبت به انواع خروجی فراوانتر هستند (شکل‌های ۳ پ و ت). در نمونه‌های دستی آنها می‌توان کانی‌های پلاژیوکلاز، هورنبلند و گاهی کوارتز را دید. در کناره‌های این دایک‌ها، تا حدی سنگ‌های میزبان دچار دگرگونی مجاورتی ضعیفی شده‌اند.



شکل ۲ نقشه ساده شده زمین‌شناسی منطقه، بازرسم شده در محیط نرم افزار GIS بر اساس بررسی‌های صحرایی و ماهواره‌ای بر پایه نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ زاهدان.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.313]



شکل ۳ الف) نمای از دایک دیوریتی در توده گرانیتوئیدی زاهدان، دید به سمت شمال غرب؛ ب) دایک داسیتی در مجموعه‌های فلیشی، دید به سمت جنوب شرق. پ) دایک‌های دیوریتی تا گرانودیوریتی در توده گرانیتوئیدی سیاه جکوک در جنوب زاهدان، دید به سمت شمال، ت) نمایی از دایک گرانودیوریتی در توده‌های گرانیتوئیدی جنوب زاهدان.

سنگ‌نگاری

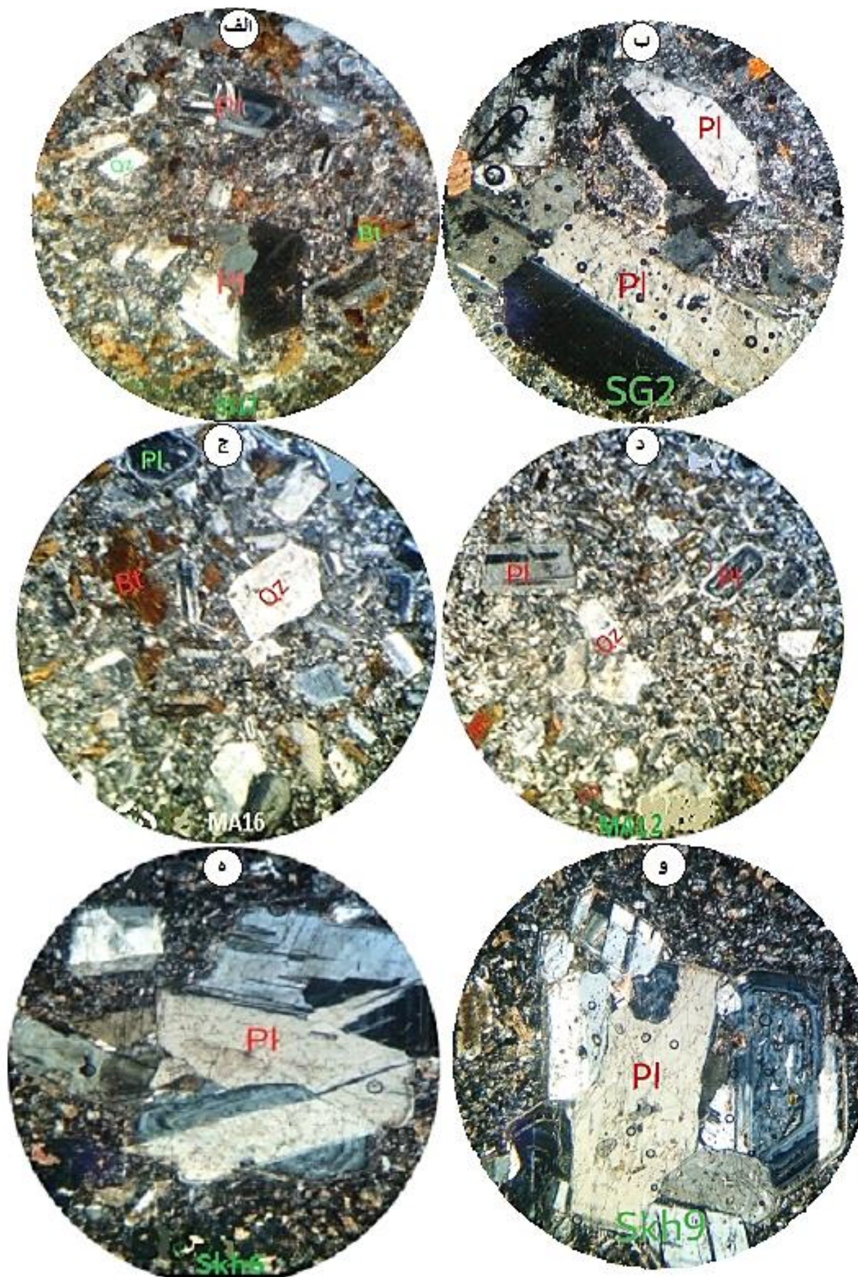
دایک‌های مورد بررسی در مقاطع میکروسکوپی دارای ترکیب دیوریتی،گرانودیوریتی و معادل‌های خروجی آنها هستند. آنها به مقدار کم ترکیب ریولیتی دارند و از کانی‌های پلاژیوکلاز، هورنبلند، بیوتیت و کوارتز تشکیل شده‌اند. دایک‌های دیوریتی در مقاطع میکروسکوپی دارای پلاژیوکلاز (۷۵ درصد حجمی)، هورنبلند (۱۵درصد حجمی) و بیوتیت (۱۰درصد حجمی) هستند، بافت آنها اغلب پورفیری تا دانه‌ای ریز است. پلاژیوکلازها به کانی‌های ثانویه چون اپیدوت،کلسیت و کلریت تجزیه شده‌اند (شکل‌های ۴ الف و ب). پلاژیوکلازها شکلدار تا نیمه شکلدار و اغلب دارای بلورهای دوقلویی چندریختی و دوتایی با اندازه حدود یک تا ۲ میلیمتر هستند. هورنبلند و بیوتیت‌ها اغلب کلریتی شده‌اند و دارای رخ نامشخص هستند.

دایک‌های گرانودیوریتی از کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز (۶۵ درصدحجمی)، هورنبلند (۱۰ درصد حجمی) و به مقدار کم بیوتیت (۷ درصد)، فلدسپات قلیایی و کانی‌های فرعی زیرکن و اسفن تشکیل شده‌اند. پلاژیوکلازها اغلب دوقلو و دارای منطقه‌بندی و نیمه شکلدار هستند. کانی‌های تیره، کوچک و بیشتر در خمیره هستند. بافت غالب این دایک‌ها ریزدانه‌ای تا پورفیری است.

دایک‌های داسیتی دارای درشت بلورهای پلاژیوکلاز قابل دیدن و بافت پورفیری هستند. در مقاطع میکروسکوپی این سنگ‌ها پلاژیوکلاز (حدود ۵۵ تا ۶۰ درصد حجمی)، هورنبلند (۱۰ تا ۱۵ درصد حجمی)، کوارتز (۱۰ درصد) و بیوتیت (۵ درصد) حضور دارند (شکل‌های ۴ پ و ت). پلاژیوکلازها نیمه‌شکل‌دار هستند و اغلب تجزیه شده‌اند. کانی‌های تیره نیز

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.313]

دچار دگرسانی شده‌اند. کانی‌های اپیدوت، اکسیدهای آهن، زیرکن، کلریت و کلسیت کانی‌های فرعی و ثانویه آنها هستند. دایک‌های آندزیتی در نمونه‌های دستی دربردارنده درشت بلورهای پلاژیوکلاز دگرسان شده و در مقاطع میکروسکوپی به ترتیب فراوانی دارای کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز (۷۵ درصد حجمی)، هورنبلند و بیوتیت (تا ۲۵ درصد حجمی، شکل‌های ۴ ث، ج) و کانی فرعی کوارتز هستند. درشت بلورهای پلاژیوکلاز شکلدار هستند و اغلب بلور دوقلوی چندریختی نشان می‌دهند و اندازه ۲ تا ۳ میلیمتر دارند. کانی‌های تیره اغلب کوچک هستند و در خمیره حضور دارند.

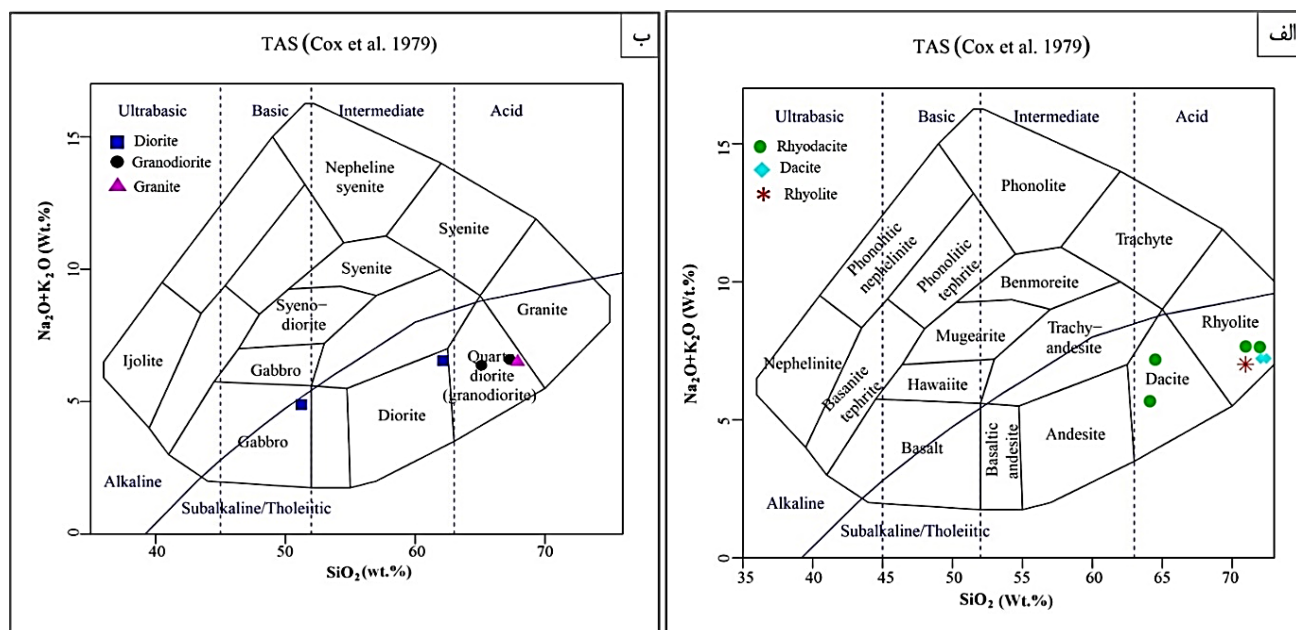


شکل ۴ تصاویر میکروسکوپی برخی دایک‌های موجود در بوم‌های گرانیتی و فلیشی جنوب زاهدان: الف) دایک‌های دیوریتی دربردارنده کانی‌های پلاژیوکلاز با منطقه‌بندی و ماکل دوقلو، بیوتیت‌های تجزیه شده، ب) درشت بلورهای پلاژیوکلاز دارای بلور دوقلو در دایک‌های گرانودیوریتی، پ، ت) کانی‌های پلاژیوکلاز دارای بلور دوقلو، منطقه بندی و بیوتیت‌های نیمه‌شکل‌دار در دایک‌های آندزیتی ث، ج) درشت بلورهای دوقلو و دارای منطقه بندی در دایک‌های آندزیتی (همه تصاویر در نور قطبیده متقاطع با بزرگنمایی ۴۰ برابر تهیه شده اند؛ قطر میدان دید ۵ میلیمتر است).

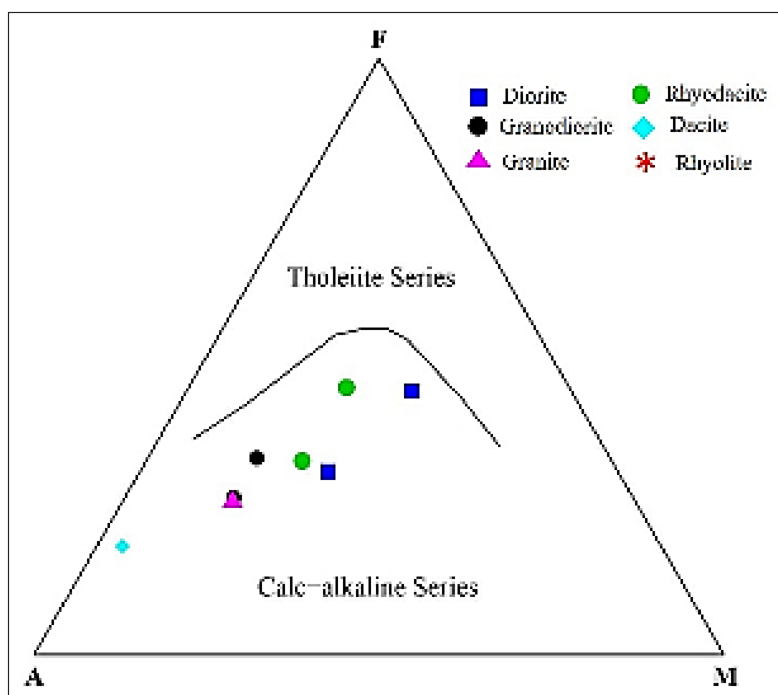
[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.313]

زمین شیمی

برای رده‌بندی و نامگذاری دایک‌های منطقه از نمودار مرجع [۱۵] استفاده شد (شکل ۵). بر این اساس، دایک‌های با ماهیت خروجی در گستره داسیت و ریولیت و دایک‌های با ماهیت نفوذی در گستره‌های دیوریت و گرانودیوریت واقع هستند. همه نمونه‌ها دارای سرشت آهکی قلیایی هستند (شکل ۶).



شکل ۵ نمودار مجموع درصد وزنی Na_2O+K_2O نسبت به درصد وزنی SiO_2 [۱۵] برای الف) دایک‌های درونی و ب) دایک‌های بیرونی.

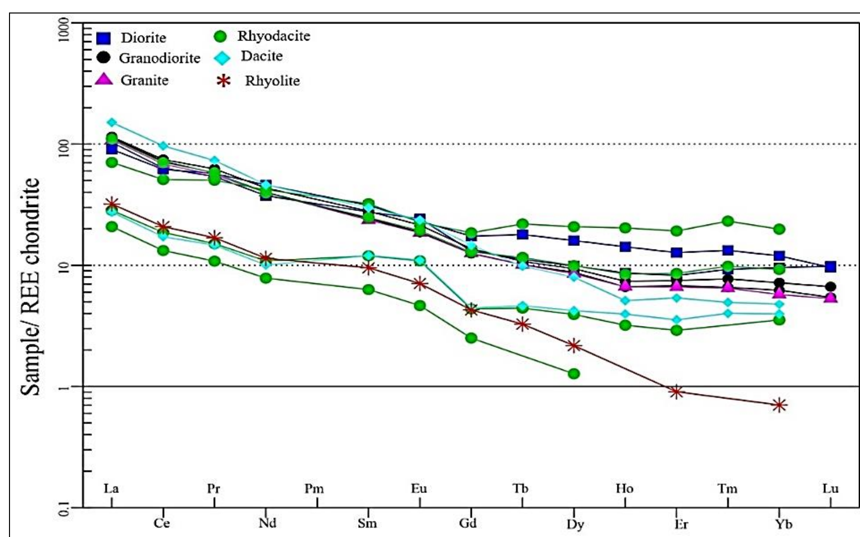


شکل ۶ موقعیت نمونه‌ها بر نمودار مثلثی AFM [۱۶].

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.313]

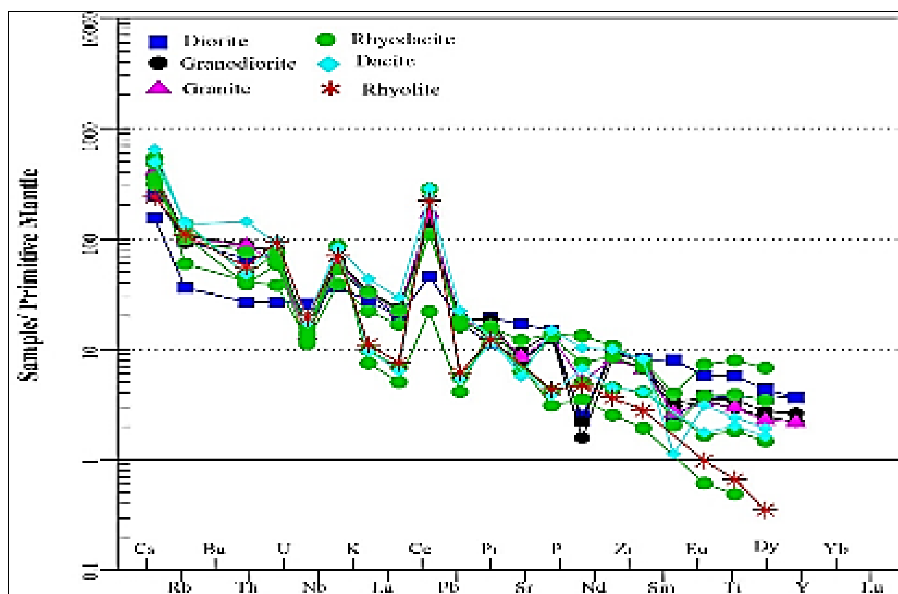
الگوهای عناصر بهنجار شده نسبت به کندریت تغییرات و دگرگونی‌های زمین‌شیمیایی نمونه‌های سنگی را در مقایسه با ترکیب اوّلیه زمین آشکار می‌سازند [۱۸،۱۷]. برای نمونه‌های منطقه مورد بررسی، در نمودارهای بهنجار شده نسبت به کندریت [۱۹] الگوی موازی تغییرات به صورت غنی‌شدگی از عناصر خاکی نادر سبک (LREE) و تهی‌شدگی از عناصر خاکی نادر سنگین (HREE) به خوبی دیده می‌شود (شکل ۷) و دارای روند شبیه ماگماهای تشکیل شده در پهنه فرورانش هستند [۱۸-۲۲]. همچنین این روندها وابستگی سنگ‌ها را به سری‌های آهکی قلیایی نشان می‌دهند [۲۳]. با توجه به موازی بودن روندهای زمین‌شیمیایی نمونه‌های دایکی، می‌توان به هم-خاستگاه بودن آنها و همچنین تبلور تفریقی از یک خاستگاه پی برد. تهی‌شدگی HREEها نسبت به LREEها اغلب نشان دهنده حضور گارنت در سنگ خاستگاه است. ناهنجاری Eu اغلب با فلدسپات‌ها در مذاب‌ها کنترل می‌شود، زیرا Eu^{2+} در پلاژیوکلازها و فلدسپات سازگار است و جدایش این کانی‌ها از مذاب موجب ناهنجاری منفی Eu در مذاب می‌گردد [۱۸]. Eu/Eu* بیش از یک گویای ناهنجاری مثبت و مقدار کمتر از یک آن بیانگر ناهنجاری منفی است. این نسبت برای نمونه‌های مورد بررسی از ۰/۹۲ تا ۱/۵ متغیر بوده که نشان دهنده نبود و یا مقادیر کم پلاژیوکلاز در خاستگاه و شرایط اکسایشی‌تر محلول و آلایش کم با پوسته‌ای قاره‌ای است [۲۴].

در بررسی الگوی تغییرات عناصر نادر بهنجار شده نسبت به گوشته اوّلیه برای نمونه‌های مورد بررسی از داده‌های مرجع [۲۵] استفاده شد. در این نمودار (شکل ۸)، غنی‌شدگی از LREEها و تهی‌شدگی HREEها دیده می‌شود. در همه نمونه‌ها، ناهنجاری به نسبت منفی از عناصر Nb،P، Zr و مثبت از عناصر K، Pb، Cs وجود دارد که از ویژگی‌های بارز سنگ‌های قوس‌های آتشفشانی و سری‌های آهکی قلیایی است [۲۲، ۲۶، ۲۷]. غنی‌شدگی عناصر LREEها و تهی‌شدگی HREEها بیانگر شکل گرفتن ماگمای پوسته زیرین طی فرآیندهای تفریق توام با جدایش است [۲۸]. ناهنجاری منفی Nb نشانگر آلایش ماگما با پوسته قاره‌ای و همچنین شاخص مناطق فرورانش و کرانه فعال قاره‌ای است [۲۸]. ناهنجاری منفی عناصر P، Nb و ناهنجاری مثبت K و Pb می‌تواند نشانگر جایگاه کمان قاره‌ای در ارتباط با فرورانش باشد [۲۶]. ناهنجاری مثبت Pb، U می‌تواند ناشی از آلایش ماگما با مواد پوسته‌ای طی صعود و جایگزینی ماگما باشد. غنی‌شدگی از عناصر با شدت میدان پایین را می‌توان به حضور گارنت در ناحیه خاستگاه نسبت داد، به طوری که عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) در فاز دیرگداز چون گارنت باقی مانده و فاز مذاب از HFSEها فقیر و از عناصر سنگ دوست درشت یون (LILE) غنی می‌گردد. همچنین غنی‌شدگی از عنصر Ce می‌تواند ناشی از آزاد شدن سیال‌های برآمده از آبزدایی پوسته اقیانوسی، انحلال در سیال و ورود آن‌ها به گوه گوشته‌ای، محل ذوب و مشارکت آن در مذاب باشد. برخی پژوهشگران مقادیر پایین عنصر Nb را به فرآیندهای تهی‌شدگی پیشین در گوشته نسبت می‌دهند [۲۸]. همچنین تهی‌شدگی عنصر Rb در نمونه گرانیتی به تحرک بالای این عنصر طی دگرسانی وابسته است. تهی‌شدگی Th می‌تواند ناشی از هضم پوسته زیرین در مناطق فرورانش باشد [۱۸].



شکل ۷ نمودار نمونه‌های دایکی مورد بررسی بهنجار شده نسبت به کندریت [۱۹].

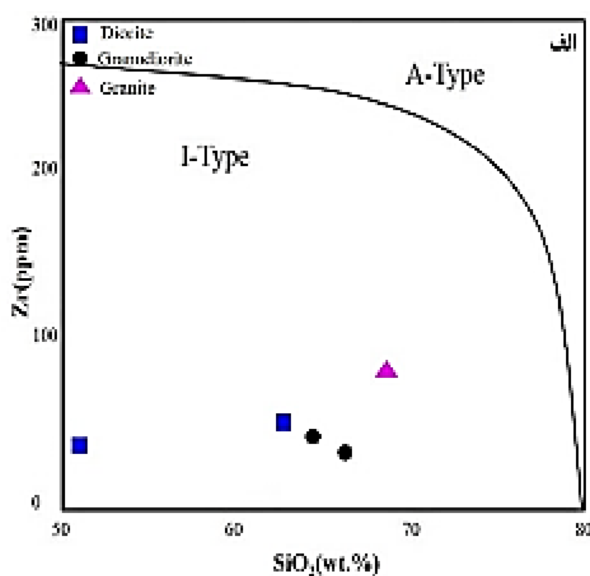
[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.313]

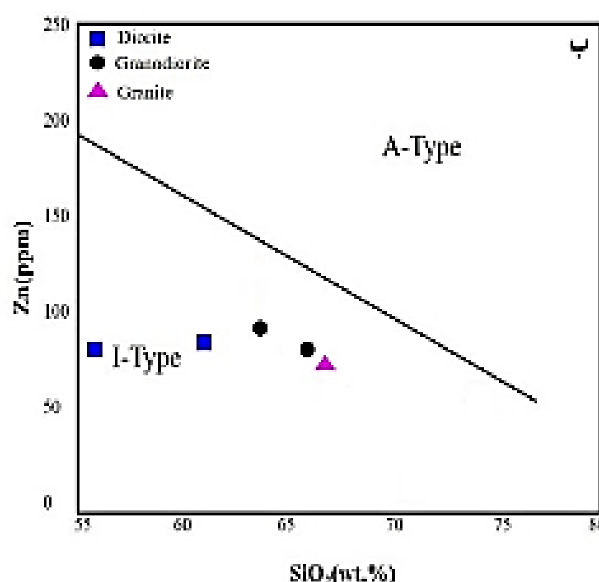


شکل۸ نمودار بهنجار شده نسبت به گوشته اوّلیه [۲۵].

بحث

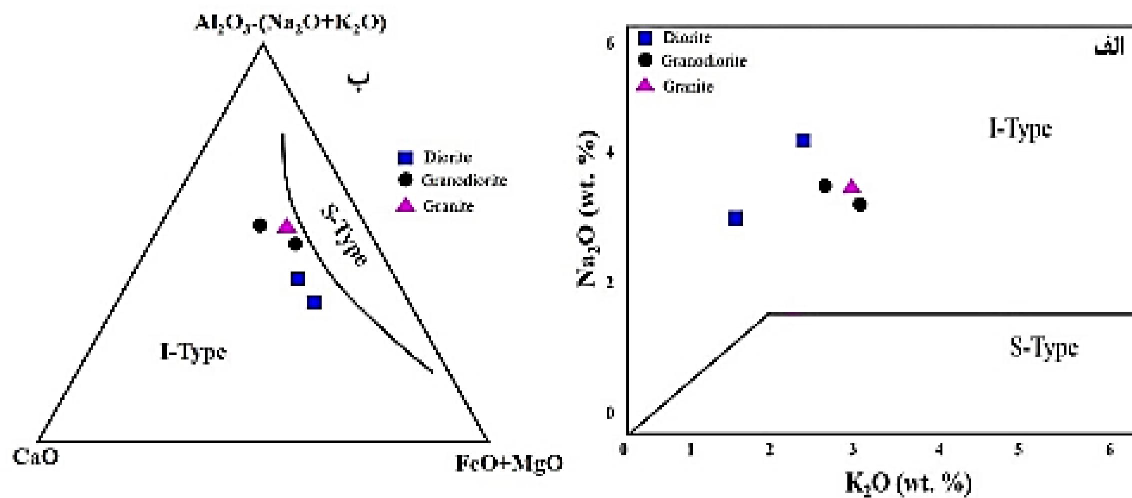
بررسی‌های گسترده‌ای بر گرانیت‌های زاهدان و دایک‌های موجود در آن انجام شده است [برای مثال ۷، ۸، ۹]. بر پایه بیشتر این گزارش‌ها، این گرانیت‌ها اغلب از نوع I و در بخش‌های از نوع S بوده و از نظر موقعیت زمین‌ساختی وابسته به پهنه‌های فرورانشی برخوردی و کمی پس از برخورد هستند. دایک‌های موجود در توده‌های گرانیتوئیدی زاهدان نیز شرایط تشکیل شبیه به توده‌ی گرانیتوئیدی میزبان دارند. این در حالی است که بر دایک‌های مجموعه‌های فلیشی کمتر بررسی زمین‌شناسی انجام شده است [۱۰، ۱۱]. از آنجا که دایک‌های مورد بررسی از نوع فلسیک هستند، برای تعیین نوع آنها از نمودارهای زمین‌شیمیایی تفکیک‌کننده گرانیتوئیدها [۲۹-۳۲] استفاده شد که بر این اساس، دایک‌های مورد بررسی هم در توده‌های گرانیتوئیدی و هم در مجموعه‌های فلیشی در گستره نوع I قرار می‌گیرند (شکل ۹). افزون بر این، براساس نمودارهای مراجع [۳۳،۳۰] نیز، آنها در گستره نوع I جای دارند (شکل ۱۰).





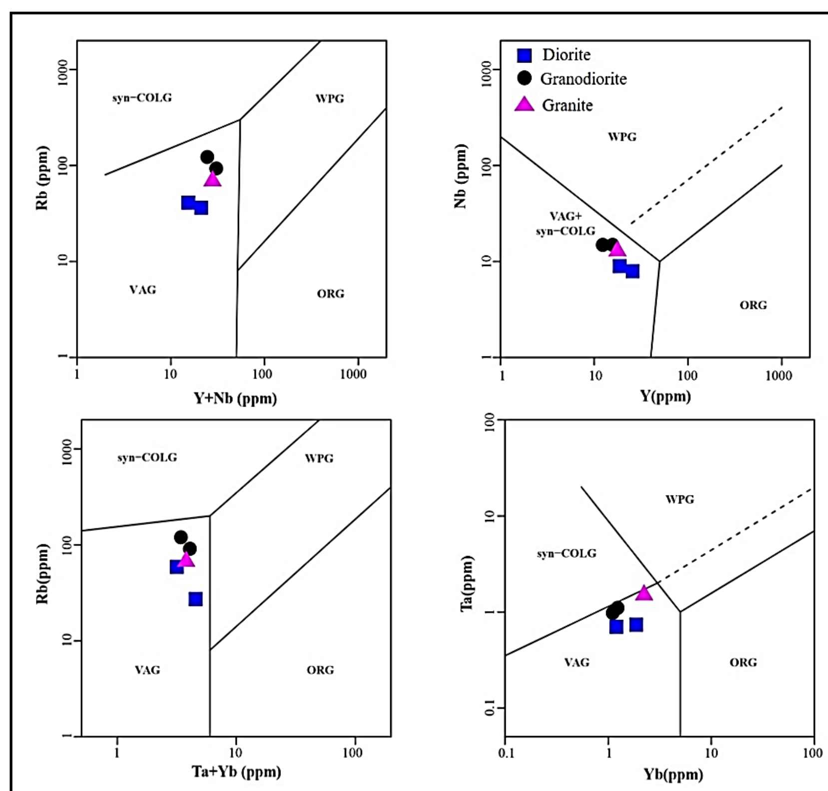
شکل ۹ موقعیت نمونه‌های دایکی مورد بررسی بر نمودارهای الف) Zr نسبت به SiO_2 [۲۹] و ب) Zn نسبت به SiO_2 [۳۰].

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.313]



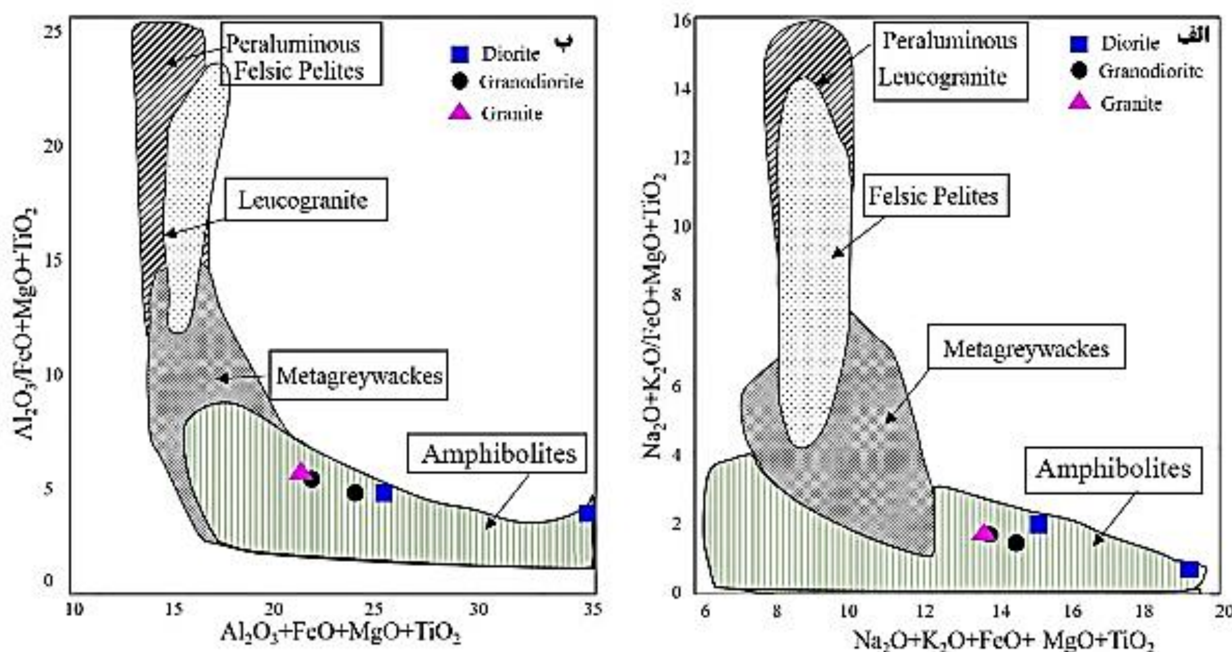
شکل ۱۰ موقعیت نمونه‌های دایکی بر الف) نمودارهای Na_2O نسبت به K_2O [۳۰] و ب) نمودار مثلثی مرجع [۳۳].

به منظور تعیین جایگاه زمین‌ساختی ماگمایی دایک‌های مورد بررسی از نمودارهای مرجع [۳۴] استفاده شد. بر این اساس، همه دایک‌ها در گستره کمان آتشفشانی قرار دارند (شکل۱۱). از این رو، دایک‌های موجود در جنوب زاهدان صرفنظر از قرارگیری در سنگ‌های میزبان، در شرایط محیط زمین‌ساختی ماگمایی مشابه بوجود آمده اند و چنان که روند و ترکیب مشابه دارند، به احتمال بسیار دارای خاستگاه مشابهی نیز هستند. به منظور تعیین خاستگاه این دایک‌ها از نمودارهای مرجع [۳۵] استفاده شد که در آنها قلمرو ترکیب‌های مذاب‌های تجربی برآمده از پلیت‌های فلسی، متاگریوکی و آمفیبولیتی مشخص گردیده است. بر این اساس، خاستگاه دایک‌های مورد بررسی در گستره آمفیبولیتی قرار دارد (شکل ۱۲).



شکل۱۱ موقعیت نمونه‌های دایکی بر نمودارهای تفکیک کننده محیط زمین‌ساختی برای انواع گرانیت‌ها [۳۴]

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.313]



شکل ۱۲ الف و ب) موقعیت نمونه‌های دایکی مورد بررسی بر روی نمودارهای مراجع [۳۵].

برداشت

در بوم‌های گرانیتی و فلیشی جنوب زاهدان، مجموعه‌ای از دایک‌های اسیدی تا حدواسط برونزد دارند که از نظر ترکیب سنگ‌شناسی بیشتر دیوریتی تا گرانودیوریتی و معادل‌های خروجی این سنگ‌ها هستند. این دایک‌ها فارغ از نوع سنگ میزبان دربرگیرنده آنها، از نظر زمین شیمیایی شبیه با توده‌های گرانیتوئیدی زاهدان هستند. همه آنها دارای سرشت آهکی قلیایی تا آهکی قلیایی با پتاسیم بالا و پرآلومین هستند. آنها روندهای متفاوت اما به طور غالب دارای روند شمال غرب-جنوب شرق دارند. این دایک‌ها خاستگاه شبیه به توده‌های گرانیتوئیدی زاهدان دارند و از نظر جایگاه زمین ساختی ماگمایی، وابستگی به محیط‌های فرورانشی برخوردی تا کمی پس از برخورد نشان می‌دهند. به نظر می‌رسد که همه دایک‌های جنوب زاهدان (در مجموعه‌های فلیشی و گرانیتوئیدی) دارای خاستگاه آمفیبولیتی و به احتمال بسیار هم سن بوده و برآمده از فازهای تاخیری ماگماهای سازنده توده‌های گرانیتوئیدی زاهدان هستند.

قدردانی

نویسندگان از سردبیر محترم مجله، هیات تحریریه و داوران محترم برای نظرات و پیشنهادات بسیار سازنده‌شان کمال قدردانی و تشکر را دارند.

مراجع

[1] Dering G.M., Micklethwaite S., Thiele S.T., Vollgger S.A., Cruden A.R., "*Review of drones, photogrammetry and emerging sensor technology for the study of dykes: Best practices and future potential*". Journal of Volcanology and Geothermal Research 373 (2019) 148–166.

[2] Clemens J. D., Mawer C. K., "*Granitic magma transport by fracture propagation*", Tectonophysics, 204 (1992) 339-360.

[3] Petford N., Cruden, A.R., McCaffrey, K.J.W., Vigneresse, J.L., "*Granite magma formation, transport and emplacement in the Earth's crust*", Nature, (2000), 408:669–673.

[4] Petford N., Kerr R. C., Lister J. R., "*Dike transport of granitoid magmas, Granite magma generation, ascent and emplacement within a transpressional Orogen*", Journal of the Geological Society of Landan 149 (1993) 487-490.

[5] Petford N., Lister J.R., Kerr R.C., "*The ascent of felsic magmas in dykes*", Lithos 32 (1994) 161–168.

[6] Anderson E. M., "*The dynamics of faulting and dyke formation with applications to Britain*", Oliver and Boyd, London. (1951).

[7] Rezaei-Kahkhaei M., Corfu F., Sheykhi M., Ghasemi H., Shi Y., "*Mineral chemistry and ages of the Eocene Gapdan granitoid pluton and related dykes (Sistan suture zone, eastern Iran): multi-*

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.313]

Group, UK. Lst edition. p. 352.Sciences 48 (1993)147–160.
[19] Boynton W.V., "*Geochemistry of Rare Earth Elements: Meteorite Studies",* In: Henderson, P. (ed.), rare Earth Element, Geochemistry Elsevier New York 63 (1984)114.
[20] Wilson M., "*Igneous petrogenesis a global tectonic approach",* Harper Collins Academic Springer (1989), 466 pp.
[21] Pearce J.A., Harris N. W., Tindle A.G., "*Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks",* Journal of Petrology 25 (1983) 956–983.
[22] Gill J., "*Orogenic Andesites and Plate Tectonics",* Springer, Berlin (1981) 390 pp.
[23] Winter C., "*An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology",* Prentice Hall (2001) 697.
[24] Martin H., "*Adakitic magmas: modern analogues of Archean granitites",* Lithos 4 (1999) 411-429.
[25] Sun S.S., McDonough W.F., "*A chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implication for mantle composition and processes",* In: Saunders, A. D., Norry M. J. (ed.), Magmatism in oceanic basins. Geology Society of London. Special Publication 42 (1989) 313 – 345.
[26] Hawkesworth C.J., Gallager K., Hergt J.M., McDermott F., "*Destructive plate margin magmatism: Geochemistry and generation*", Lithos 33 (1991)169 – 188.
[27] Castillo P. R., "*An over view of Adakite petrogenesis"*, Chinese science bulletin (2006) 257- 268.
[28] Gust D. A., Arculus R. A., Kersting A. B., "*Aspects of magma sources and processes in the Honshu arc",* The Canadian Mineralogist 35 (1977) 347–365.
[29] Collins W.J., Beams S.D., White A.J.R., Chappel B.W., "*Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia",* Contributions to Mineralogy and petrology 80 (1982) 180-200.
[30] Chappell B.W., White A.J.R., "*Granitoid Types and Their Distribution in the Lachlan Fold Belt, Southeastern Australia"*, Geological Society of America Memoirs 159 (1983) 21-34.
[31] Chappell B W, White A J. R., "*Two contrasting granite types: 25 years later"*, Australian Journal of Earth Sciences 48 (2001) 489 - 449.
stage emplacement of a zoned pluton during progressive deformation and exhumation", Journal of Asian Earth Sciences 216 (2021)104-813.
[8] Rezaei-Kahkhaei M., Corfu F., Galindo C., Rahbar R., Ghasemi H., "*Adakite genesis and plate convergent process: Constraints from whole rock and mineral chemistry, Sr, Nd, Pb isotopic compositions and U-Pb ages of the Lakhshak magmatic suite, East Iran",* Lithos 426 (2022)106-806.
[9] Sarhadi N., Rezaei-Kahkhaei M., Shi Y., Erambert M., Ghasemi H., *"Thermobarometric and structural constraints on multistage emplacement mechanism of the Garagheh pluton, Sistan Suture Zone (SE Iran)"* . Journal of Asian Earth Sciences 250 (2023) 105-624.
[10] Rashki Z., Ahmadi A., "*Petrology and geochemistry of acidic volcanic rocks in Korin-Nosrat Abad region, West of Zahedan, East of Iran(in Persian)*", McS. Thesis, University of Sistan and Baluchistan, (2017), 137.
[11] Sarhadi N., Ahmadi A., Firouzkohi Z., Jami M., "*Petrology and geochemistry of mesocratic and melanocratic dykes in the Lakhshak granodiorite body, North-west of Zahedan(in Persian)*" Journal of Earth Sciences 104 (2016)149- 162.
[12] Stocklin J., Eftekharan zhad J., Hoshmand zadeh A., "*Central Lut reconnaissancc East Geological survey of Iran",* 56 (1986) 216.
[13] Tirrul R., Bell I.R., Griffis R.J., Camp V.E, *"The Sistan suture zone of eastern Iran"*. Geological Society of America Bulletin 94 (1) (1983) 134-50.
[14] Camp VE., Griffis RJ., "*Character, genesis and tectonic setting of igneous rocks in the Sistan suture zone, eastern Iran',* Lithos 15 (1982) 221-239.
[15] Cox K.G., Bell J.D., Pankhurst R.J., "*The Interpretation of Igneous Rock",* London George Allen and Unwin, (1979) 450pp.
[16] Irvin T., Baragar W.R.A., "*A guide to the Chemical classification of the common volcanic rocks",* Canadian Journal of earth Science Letters 8 (1971) 523-548.
[17] Hanson G.N., "*Rare earth elements in petrogenetic studies of igneous systems",* Annual Review of Earth and Planetary Sciences 8 (1980)371-406.
[18] Rollinson H.R., "*Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation',* Longman

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.313]

[32] Chapple B.W., White A.J.R., "*I- and S- type granites in Lachlan fold belt',* Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences 83 (1992) 1-26.

[33] Bagas L., Bierlein F.P., Anderson J.A.C., Maas R.,"*Collision-related granitic magmatism in the Granites-Tanami Orogen"*, Western Australia. Precambrian Research 177 (2010) 212-226.

[34] Pearce J. A., Harris N. B. W., Thindle A. G. "*Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitc rock"*, Journal of Petrology 25 (1984) 956 - 983.

[35] Patino A., Douce A.E., '*What do experiment tell us about the relative contributions of crust and mantel to the origin of granitic magma",* Geology Society of London, Special publication 168 (1999) 55-73.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.313]